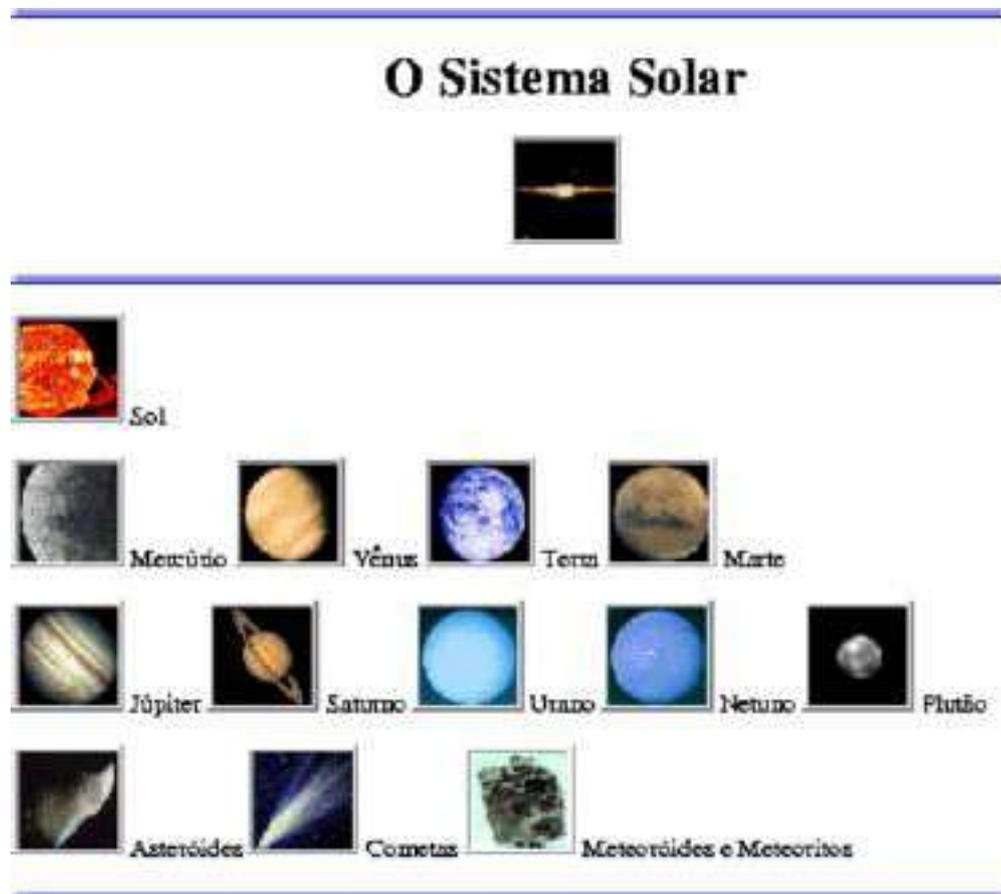


## Capítulo 14

# O Sol e os planetas



Nosso sistema solar está composto pela nossa estrela, o Sol, pelos oito planetas com suas luas e anéis, pelos asteróides, planetas anões e pelos cometas. O corpo dominante do sistema é o Sol, como pode ser visto na tabela a seguir. Todos os planetas giram em torno do Sol aproximadamente no mesmo plano e no mesmo sentido, e quase todos os planetas giram em torno de seu próprio eixo no mesmo sentido da translação em torno do Sol.

Tabela 14.1: Massa no Sistema Solar

Componente	Massa
Sol	99,85%
Júpiter	0,10%
Demais planetas	0,04%
Cometas	0,01% (?)
Satélites e anéis	0,000 05%
Asteróides	0,000 000 2%
Meteoróides e poeira	0,000 000 1% (?)

## 14.1 Origem do sistema solar

A hipótese moderna para a origem do sistema solar é baseada na hipótese nebular, sugerida em 1755 pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804), e em 1796 desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), em seu livro *Exposition du Système du Monde*. Laplace, que desenvolveu a teoria das probabilidades, calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do Sol na mesma direção, e também giram em torno de si mesmos na mesma direção (com exceção de Vênus), só poderiam ter se formado de uma mesma grande nuvem de partículas em rotação. Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar, a nebulosa solar, colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas. Uma vez que a contração iniciou, a força gravitacional da nuvem atuando em si mesma acelerou o colapso. À medida que a nuvem colapsava, a rotação da nuvem aumentava por conservação do *momentum* angular e, com o passar do tempo, a massa de gás rotante assumiria uma forma discoidal, com uma concentração central que deu origem ao Sol. Os planetas teriam se formado a partir do material no disco.

As observações modernas indicam que muitas nuvens de gás interestelar estão no processo de colapsar em estrelas, e os argumentos físicos que

Tabela 14.2: Composição Química da Atmosfera do Sol

Elemento	Z	A	Percentagem em massa	Percentagem em número de partículas
H	1	1	70,57 %	91,2%
He	2	4	27,52%	8,7%
O	8	16	0,9592%	0,078%
C	6	12	0,3032%	0,043%
Ne	10	20	0,1548%	
Fe	26	56	0,1169%	
N	7	14	0,1105%	
Si	14	28	0,0653%	
Mg	12	24	0,0513%	
S	16	32	0,0396%	
Ne	12	24	0,0208%	
Mg	12	26	0,0079%	
Ar	18	36	0,0077%	
Fe	26	54	0,0072%	
Mg	12	25	0,0069%	
Ca	20	40	0,0060%	
Al	13	27	0,0058%	
Ni	28	58	0,0049%	
C	6	13	0,0037%	
He	2	3	0,0035%	
Si	14	29	0,0034%	
Na	11	23	0,0033%	
Fe	26	57	0,0028%	
Si	14	30	0,0024%	
H	1	2	0,0023%	

predizem o achatamento e o aumento da taxa de spin estão corretos. A contribuição moderna à hipótese nebular diz respeito principalmente a como os planetas se formaram a partir do gás no disco e foi desenvolvida em 1945 pelo físico alemão Carl Friedrich Freiherr von Weizäcker (1912-2007). Após o colapso da nuvem, ela começou a esfriar; apenas o proto-sol, no centro, manteve sua temperatura. O resfriamento acarretou a condensação rápida

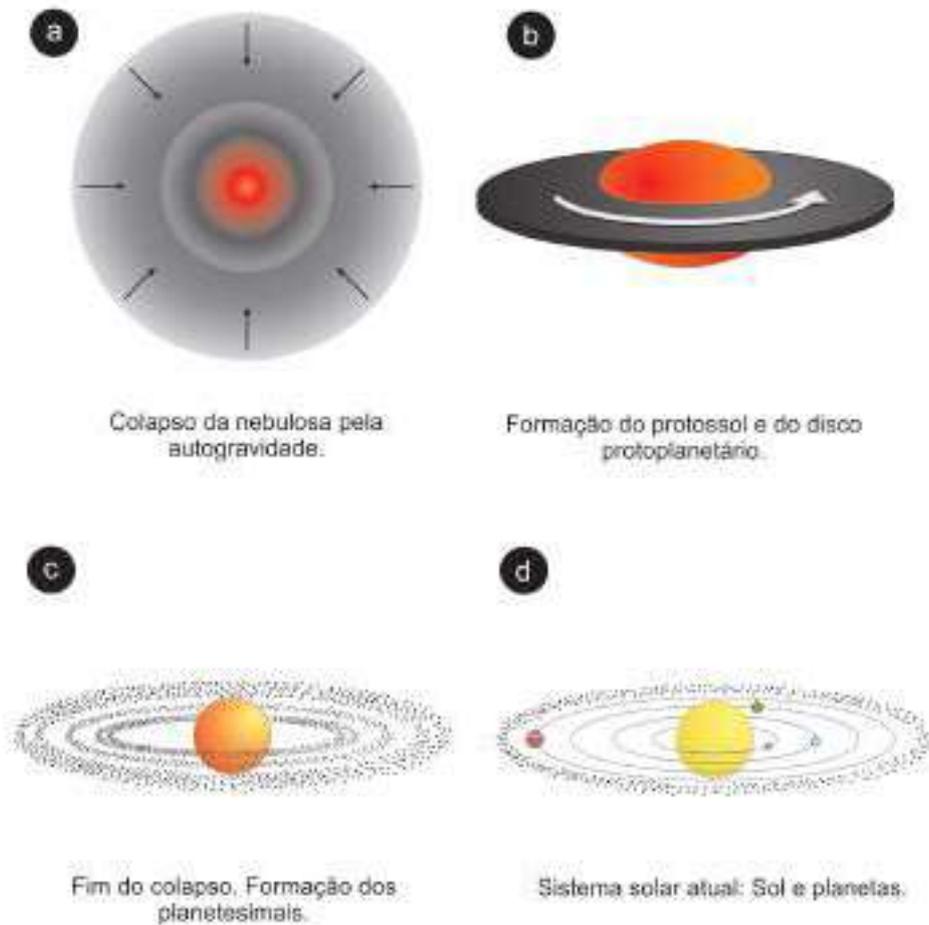


Figura 14.1: Etapas do processo de formação do Sistema Solar de acordo com o modelo da nebulosa solar.

do material, o que deu origem aos planetesimais, agregados de material com tamanhos da ordem de quilômetros de diâmetro, cuja composição dependia da distância ao Sol: regiões mais externas tinham temperaturas mais baixas, e mesmo os materiais voláteis tinham condições de se condensar, ao passo que, nas regiões mais internas e quentes, as substâncias voláteis foram perdidas. Os planetesimais, a seguir, cresceram por acreção de material para dar origem a objetos maiores, os núcleos planetários. Na parte externa do sistema solar, onde o material condensado da nebulosa continha silicatos e

gelos, esses núcleos cresceram até atingir massas da ordem de dez vezes a massa da Terra, ficando tão grandes a ponto de poderem atrair o gás a seu redor e então cresceram mais ainda por acreção de grande quantidade de hidrogênio e hélio da nebulosa solar. Deram origem, assim, aos planetas jovianos. Na parte interna, onde apenas os silicatos estavam presentes, os núcleos planetários não puderam crescer muito, dando origem aos planetas terrestres.

## 14.2 Planetologia comparada

### 14.2.1 Características gerais dos planetas

Existem dois tipos básicos de planetas, os terrestres, que são do tipo da Terra, e os jovianos, que são do tipo de Júpiter. Os planetas terrestres compreendem os quatro planetas mais próximos do Sol: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Os jovianos compreendem os quatro planetas mais distantes: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Urano foi descoberto em 1781 por William Herschel (1738-1822) e Netuno em 1846 por previsão de Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877) e John Couch Adams (1819-1892).

Plutão, descoberto em 1930 por Clyde William Tombaugh (1906-1997), não se enquadra em nenhuma das categorias, e foi reclassificado em 2006 como um dos planetas anões conhecidos, como Éris, Ceres e Caronte; durante vinte anos do período de Plutão, de 248 anos, em torno do Sol, como entre 1979 e 11 de fevereiro de 1999, Plutão fica mais próximo do Sol do que Netuno.

As características fundamentais de cada tipo estão resumidas na tabela 14.3:

Tabela 14.3: Características dos tipos de planetas

	Terrestres	Jovianos
massa	pequena ( $\leq M_{\oplus}$ )	grande ( $\geq 14M_{\oplus}$ )
tamanho	pequeno	grande
densidade	grande	pequena
distância ao Sol	pequena	grande
composição química	rochas e metais pesados silicatos, óxidos, Ni, Fe	elementos leves H, He, H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>
n.º de satélites	poucos ou nenhum	muitos

### 14.2.2 Propriedades fundamentais dos planetas

**Massa:** determinada medindo a influência gravitacional do planeta em um satélite natural ou em uma nave espacial, ou em outros planetas, e, então, aplicando as leis de Kepler e Newton;

**Raio:** medido diretamente do tamanho angular, quando se conhece a distância;

**Distância ao Sol:** é determinada a partir da paralaxe geocêntrica do planeta, ou, mais modernamente, por medidas de radar;

**Composição química:** pode ser estimada a partir da densidade média do planeta. Por exemplo, uma densidade de  $1000 \text{ kg/m}^3$  é típica de materiais congelados; valores de 2800 a 3900 são típicos de rochas vulcânicas e meteoritos rochosos; valores de 5000 a 6000 correspondem a minerais ricos em ferro, e valores em torno de 7900 são típicos de meteoritos ferrosos.

Outras propriedades importantes dos planetas são:

**Rotação:** todos os planetas apresentam rotação, detectada diretamente a partir da observação de aspectos de sua superfície, ou por medidas de efeito Doppler de ondas de radar enviadas a ele, ou, ainda, por medidas da taxa de rotação do campo magnético do planeta. O efeito Doppler aparece porque, quando o planeta está girando, as duas bordas têm velocidades radiais com sentidos opostos: uma se afasta do observador, a outra se aproxima; as ondas refletidas na borda que se aproxima apresentam deslocamento Doppler para comprimentos de onda menores, e as ondas refletidas na borda que se afasta apresentam deslocamento para comprimentos de onda maiores. A medida da rotação através do campo magnético é usada no caso dos planetas jovianos, que não refletem ondas de radar, e cujos aspectos observáveis dizem respeito a ventos na sua atmosfera.

**Temperatura:** como os planetas obtêm a maior parte de sua energia da luz solar, suas temperaturas dependem basicamente de sua distância ao Sol. Existe uma relação simples entre a temperatura característica, ou temperatura efetiva de um planeta, e sua distância ao Sol ( $a$ ):

$$T_{\text{ef}} \propto \sqrt{1/a}$$

Assim, sabendo a temperatura efetiva da Terra (260 K, na ausência de atmosfera), podemos estimar a temperatura efetiva dos outros planetas

simplesmente dividindo 260 pela raiz quadrada de sua distância ao Sol em unidades astronômicas.

**Refletividade:** parte da energia solar incidente sobre o planeta é refletida, e parte é absorvida. A fração da energia solar total incidente que é refletida chama-se albedo (A).

$$A = \frac{\text{energia espalhada em todas as direções}}{\text{energia solar incidente}}$$

O resto da energia (1-A), é absorvida e re-emitida em forma da radiação infravermelha. Assim, se um objeto reflete toda a luz que incide nele, seu albedo é 1; se ele absorve toda a luz, seu albedo é 0.



Figura 14.2: O Sol, à esquerda, os planetas e Plutão, à direita.

### 14.2.3 Estrutura Interna:

A estrutura interna de um planeta depende de como certos parâmetros físicos, como composição química, temperatura e densidade, variam com o raio. Em geral, a pressão aumenta próximo ao centro do planeta, e a temperatura também aumenta como consequência do aumento da pressão e do calor liberado no centro por decaimento de elementos radiativos. A composição química usualmente é diferenciada de acordo com a distância ao centro, e estruturada em camadas.

Uma maneira de conhecer a estrutura interna de um planeta é medir a transmissão de *ondas sísmicas* através dele. Essas ondas podem ser produzidas por terremotos naturais ou por impactos artificiais e se propagam em

materiais sólidos como rochas, portanto, é uma técnica que pode ser aplicada a todos os planetas terrestres. Até o momento, somente a estrutura da Terra e da Lua foram investigadas usando essa técnica, o que mostrou claramente a existência de um núcleo metálico na Terra e a ausência de núcleo metálico na Lua.

A estrutura interna dos planetas jovianos, que não têm uma superfície sólida, não pode ser observada através de ondas sísmicas. Uma alternativa é mapear o campo gravitacional estudando a órbita de uma sonda espacial quando ela passa pelo planeta. Outra maneira de conhecer o interior dos planetas jovianos, que são gasosos, é através de modelos usando formalismo hidrostático, como se faz no caso de estrelas.

A pressão central do planeta, por exemplo, pode ser obtida da equação de equilíbrio hidrostático. Essa equação leva em conta que, se o planeta não está nem se expandindo nem se contraindo, obedece à equação de equilíbrio hidrostático, isto é, em cada ponto, o peso das camadas superiores é balanceado pela força de pressão das camadas inferiores, ou

$$\boxed{\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r\rho}{r^2}}$$

onde  $\rho$  é a densidade e  $M_r$  é a massa interna ao raio  $r$ . O sinal menos indica que a pressão aumenta à medida que o raio diminui. Integrando essa expressão desde a superfície até o centro, supondo que a densidade é aproximadamente constante e igual à densidade média do planeta, resulta que a pressão central é:

$$P_c = \frac{4\pi}{3} GR^2\rho^2$$

A pressão a uma distância  $r$  do centro do planeta fica:

$$P_r = \frac{2\pi}{3} G\rho^2 (R^2 - r^2)$$

que em unidades do sistema internacional é:

$$P_r = 1,4 \times 10^{-10} \rho^2 (R^2 - r^2) \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

De um modo geral, os planetas terrestres têm uma atmosfera gasosa, uma superfície sólida bem definida e um interior na maior parte sólido (embora a Terra tenha um núcleo externo líquido). Os planetas jovianos têm uma atmosfera gasosa, nenhuma superfície sólida, e um interior líquido na maior parte. As estruturas internas dos planetas jovianos e terrestres podem ser esquematizadas nas figuras a seguir.

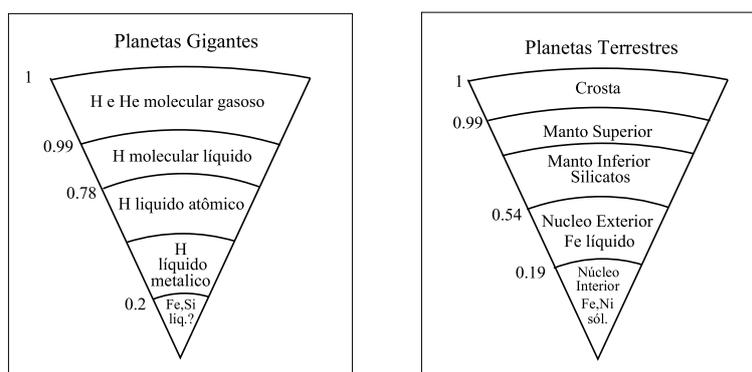


Figura 14.3: Interior dos planetas gigantes e terrestres.

As observações da espaçonave Galileo impuseram limites às massas dos núcleos de Júpiter, entre 0 e 10 massas terrestres, e de Saturno, entre 6 e 17 massas terrestres (Günther Wuchterl, Tristan Guillot, & Jack J. Lissauer 2000, Protostars and Planets IV, 1081 ).

#### 14.2.4 Superfícies

As superfícies planetárias podem ser conhecidas de forma preliminar a partir do albedo, se o planeta não tem atmosfera espessa. Em planetas com atmosfera espessa, como os planetas jovianos e Vênus, o albedo não se refere à superfície.

As superfícies da Lua e de Mercúrio são parecidas, com grande número de crateras e grandes regiões baixas e planas. Marte apresenta uma superfície com montanhas, vales e canais. A superfície de Vênus não é visível devido às densas nuvens de ácido sulfúrico que cobrem o planeta, mas estudos em rádio revelam que essa superfície é composta, principalmente, de terrenos baixos e relativamente planos, mas também apresenta planaltos e montanhas.

Os principais processos que determinam alterações na crosta posteriormente à sua formação e que, portanto, determinam o rejuvenescimento da crosta, são: atividade geológica, erosão e crateramento.

#### Atividade geológica

A atividade geológica, compreendendo vulcanismo e atividade tectônica, depende da quantidade de calor interno no planeta. A atividade geológica é

decrecente para Terra, Vênus e Marte.

Na Terra, tanto a presença de vulcões ativos quanto o movimento das placas tectônicas contribuem para o renovamento da crosta. Em Marte, existem grandes vulcões, alguns deles podem ser ativos, mas não há evidência de tectonismo de placas.

Na Lua, atualmente, acontecem poucos sismos por anos (milhares, comparados com milhões na Terra), mas na época em que a Lua era jovem, há cerca de 4 ou 3 bilhões de anos atrás, houve um grande vazamento de lava na superfície, que posteriormente se solidificou, formando os mares lunares (regiões escuras, aparentemente baixa e planas que contêm muitas crateras). A Lua tem crosta assimétrica, sendo mais delgada (60 km) no lado voltado para a Terra e mais espessa (150 km) no lado oposto. O número de mares é maior no lado em que a crosta é delgada.

Vênus, aparentemente, é menos ativo do que a Terra, mas parece ter mais atividade geológica persistente do que Marte. Isso indica que Vênus teria retido mais do seu calor residual do que Marte, o que está de acordo com o fato de Vênus ser maior do que Marte. Também acontece atividade geológica em Io, o satélite de Júpiter mais próximo do planeta. Io apresenta um alto nível de atividade vulcânica. Ariel e Titânia, satélites de Urano, também apresentam sinais de atividade catastrófica recente.

## **Erosão**

A erosão pode ser resultado da ação da atmosfera ou da hidrosfera. Não existe erosão em Mercúrio nem na Lua. Na Terra, existe erosão, como é evidenciado pela existência de rochas sedimentares. Mas o planeta em que a erosão é mais importante é Marte, devido às frequentes tempestades de poeira que assolam sua superfície.

## **Crateramento**

As crateras aparecem em todos os planetas terrestres e em quase todos os satélites do Sistema Solar. Elas podem ter origem vulcânica ou de impacto. As crateras vulcânicas são, em geral, menores e mais fundas do que as de impacto. Na Terra, a maioria das crateras existentes são de origem vulcânica, uma vez que a atividade interna da Terra, assim como a erosão, apagaram grande parte dos efeitos de impactos ocorridos na época em que muitos corpos residuais do processo de formação povoavam o Sistema Solar. Mas na Lua, Mercúrio e Marte, as crateras de impacto são dominantes. As recentes

observações com radar da superfície de Vênus mostraram que esse planeta também tem crateras, mas ainda não se sabe ao certo sua principal origem.

O número de crateras de impacto numa superfície nos permite estimar sua idade, pois o número de crateras é proporcional ao tempo decorrido desde que a superfície foi exposta. Portanto, em um dado planeta, o terreno com maior número de crateras de impacto será sempre o mais antigo.

No impacto, a energia cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) do corpo impactante é transformada em calor e em uma onda de choque que se propaga pelo corpo impactado. A velocidade de colisão é, no mínimo, igual à velocidade de escape do corpo que está sendo colidido (11 km/s para a Terra, e 2,4 km/s para a Lua). Assim, para um asteroide típico, com raio de 1 km e densidade de 1 g/cm<sup>3</sup>, sua energia cinética ao colidir com a Terra será (no mínimo)  $E_c = 2,5 \times 10^{27}$  erg =  $6,0 \times 10^7$  Kton T.N.T. (a energia associada ao T.N.T. é  $4,2 \times 10^{10}$  erg/g).

Para ter uma idéia do que isso representa, a energia associada a uma bomba atômica é de 20 Kton de T.N.T., logo no impacto mencionado, anteriormente, a energia liberada seria equivalente à de 3 milhões de bombas atômicas!

O tamanho da cratera gerada é proporcional à potência 1/3 da energia do impacto. Assim, sabendo que um impacto com energia de 1 Mton de T.N.T. abre uma cratera de 1 km de diâmetro, num impacto como o acima descrito a cratera aberta teria um diâmetro de 80 km.

A cratera de Chicxulub, no México, supostamente gerada no impacto que causou a extinção dos dinossauros, há 65 milhões de anos, tem diâmetro de 200 km, e acredita-se que o asteroide que a provocou tinha um diâmetro de, no mínimo, 10 km. A energia liberada nessa explosão foi equivalente a 5 bilhões de bombas nucleares do tamanho da bomba de Hiroshima. Cálculos atuais mostram que impactos grandes como esse, na Terra, ocorrem numa taxa de 1 a cada 30 milhões de anos.

### 14.2.5 Atmosferas

A composição da atmosfera dos planetas pode ser conhecida pela análise espectral da luz solar que eles refletem. Como essa luz solar refletida atravessou parte da atmosfera do planeta, e as moléculas do gás na atmosfera absorvem certos comprimentos de onda, o espectro apresenta certas linhas escuras que não aparecem no espectro solar. A identificação dessas linhas escuras permite identificar os gases que as produziram, assim como a pressão e a temperatura da atmosfera.

Os gases presentes na atmosfera de um planeta depende dos constituintes químicos de que o planeta se formou e da massa do planeta. Os planetas terrestres se formaram sem atmosferas extensas e sua atmosfera atual não é primitiva, mas formada ao longo do tempo geológico a partir de gases escapados de seu interior. O impacto com cometas também contribui com alguns componentes dessa atmosfera secundária.

Já os planetas massivos têm um tipo de atmosfera totalmente diferente, dominada pelos gases mais leves e mais comuns, especialmente hidrogênio e hélio. Evidentemente, esses planetas foram capazes de reter o gás presente no sistema solar na época de sua formação.

### Retenção de atmosferas

A retenção de atmosferas é um compromisso entre a energia cinética (ou temperatura) das moléculas do gás e a velocidade de escape do planeta (ou de sua massa).

Sabe-se que, para um gás ideal, a energia cinética média de suas moléculas é  $\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$ , onde  $T$  é a temperatura absoluta do gás,  $m$  é a massa das moléculas do gás e  $\bar{v}$  sua velocidade média, e  $k$  é a constante de Boltzmann, com valor de  $1,38 \times 10^{-23}$  Joule/K. Portanto, a velocidade média é

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

A velocidade das moléculas, portanto, depende da temperatura do gás e da massa molecular do gás. A uma mesma temperatura, quanto mais pesado o gás, menor a velocidade média de suas moléculas. Cálculos de mecânica estatística mostram que, para um planeta reter um certo gás por bilhões de anos, a velocidade média de suas moléculas deve ser menor do que 1/6 da velocidade de escape do planeta:

$$\bar{v} \leq \frac{1}{6}v_{\text{escape}} = \frac{1}{6}\sqrt{2GM/r}$$

Por exemplo, a velocidade média das moléculas do oxigênio, a uma temperatura de 293 K (temperatura típica na superfície da Terra), é de 0,5 km/s, e a velocidade média das moléculas do hidrogênio, na mesma temperatura é de 2 km/s. Como a velocidade de escape da Terra é 11 km/s, que é mais do que 6 vezes maior do que a velocidade média das moléculas de oxigênio, mas é menos do que 6 vezes maior do que a velocidade média das moléculas do hidrogênio, a atmosfera da Terra retém o oxigênio, mas não o hidrogênio.

Tabela 14.4: Velocidade de Escape dos Planetas

Planeta	Velocidade (km/s)
Mercúrio	4,2
Vênus	10,3
Terra	11,2
Lua	2,4
Marte	5,0
Júpiter	61
Saturno	37
Urano	22
Netuno	25

### 14.2.6 Efeito estufa

A maioria dos planetas que têm atmosferas experimenta alguma elevação da temperatura de sua superfície devido ao efeito de acobertamento pela atmosfera, o chamado *efeito estufa*. O efeito estufa é maior para Vênus, que, na realidade, tem uma temperatura superficial mais alta do que a de Mercúrio, embora esteja muito mais distante do Sol do que este.

Isso acontece por causa da grande quantidade de  $\text{CO}_2$  na atmosfera de Vênus. Como esse gás é opaco à radiação infravermelha, quando a superfície do planeta absorve a luz solar e re-irradia parte dele como calor (radiação infravermelha), o dióxido de carbono na atmosfera impede que essa radiação escape para fora. Em consequência, a superfície aquece.

Na Terra, a quantidade de dióxido de carbono foi reduzida como consequência da existência de vida. Na ausência de vida, provavelmente teríamos uma atmosfera mais massiva e dominada por  $\text{CO}_2$ .

Os organismos vivos contribuem para a diminuição desse gás na atmosfera de duas maneiras: uma é que as criaturas marinhas usam os carbonatos como principal constituinte de suas conchas e carapaças protetoras. Quando elas morrem, essas cascas afundam e se petrificam, até que eventualmente são ejetadas para a superfície nas explosões vulcânicas. Mas os organismos vivos rapidamente os reciclam novamente. A outra maneira como a vida remove o  $\text{CO}_2$  é pela produção de depósitos de combustíveis fósseis, o carvão. O petróleo não é mais necessariamente considerado um combustível fóssil (biogênico), pois pode ser um hidrocarboneto primordial (abiogênico) ao qual produtos biológicos foram adicionados.

Mesmo apesar de existir em pequena quantidade, o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera da Terra ainda é o principal fator da produção do efeito estufa na Terra, embora o vapor d'água e os CFCs também contribuam. Nos últimos 200 000 anos a quantidade de CO<sub>2</sub> no ar esteve abaixo de 300 partes por milhão, mas no últimos 10 anos subiu acima de 350 partes por milhão e vem crescendo cerca de 1,5 partes por milhão ao ano. Os oceanos distribuem o calor do Sol através de suas correntes marítimas, e mudanças na temperatura da água nos oceanos causam variações climáticas, como o *El Niño*. Estima-se que a temperatura média da Terra está atualmente 1°C mais alta do que estava há um século atrás.

Propriedades dos Planetas do Sistema Solar

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão
Distância média ao Sol (UA)	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06	39,44
Distância média ao Sol ( $10^6$ km)	57,9	108,2	149,6	227,94	778,4	1423,6	2867,0	4488,4	5909,6
Excentricidade da Órbita	0,206	0,0068	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,046	0,010	0,248
Período de Revolução	87,97d	224,7d	365,26d	686,98d	11,86a	29,46a	84,04a	164,8a	247,7a
Período de Rotação	58,6d	-243,0d	23h56m	24h37m	9h48m	10h12m	-17h54m	19h 6m	6d 9h
Inclinação do Eixo	0,1°	177°	23° 27'	25°	3° 05'	26° 44'	98°	30°	120°
Inclinação da Órbita à Eclíptica	7°	3,4°	0°	1,9°	1,3°	2,5°	0,8°	1,8°	17,2°
Diâmetro Equatorial (km)	4878	12100	12756,34	6786	142984	120536	51108	49538	2306
Massa (kg)	$3,3 \times 10^{23}$	$4,9 \times 10^{24}$	$6,0 \times 10^{24}$	$6,4 \times 10^{23}$	$1,9 \times 10^{27}$	$5,7 \times 10^{26}$	$8,7 \times 10^{25}$	$1,0 \times 10^{26}$	$1,3 \times 10^{22}$
Massa ( $M_{Terra}$ )	0,055	0,815	1	0,107	317,9	95,2	14,6	17,2	0,002
Densidade ( $g/cm^3$ )	5,41	5,25	5,52	3,9	1,3	0,7	1,3	1,7	1,99
Achatamento	0	0	0,003	0,005	0,06	0,1	0,03	0,02	-
Temperatura (C)	407(s)dia -183(s)noite	-43(n) 470(s)	22(s)	-23(s)	-150(n)	-180(n)	-210(n)	-220(n)	-218(s)
Componentes da Atmosfera	traços de Na,He,H <sub>2</sub> O	96%CO <sub>2</sub> 3,5% N	78%N <sub>2</sub> 21% O <sub>2</sub>	95%CO <sub>2</sub> 3% N	90%H 10% He	97%H 3% He	83%H 15% He	74%H 25% He	CH <sub>4</sub> N,CO ?
Gravidade Superficial ( $g_{Terra}$ )	0,37	0,88	1	0,38	2,64	1,15	1,17	1,18	0,11
No. de Satélites Conhecidos	0	0	1	2	65	62	27	14	5
Velocidade de Escape (km/s)	4,3	10,4	11,2	5,0	60	35,4	21	24	1,21

